

## Resum

Aquest projecte té com a objectiu la millora del servei de Bicing de Barcelona utilitzant la tecnologia de l'IoT (Internet de les coses), millorant tan l'eficiència com la seguretat del sistema.

Amb aquesta finalitat s'ha utilitzat la placa de desenvolupament TD1204, de l'empresa *Telecom Design*, fabricada per a l'empresa *SIGFOX*. Bàsicament s'han utilitzat el seu GPS, el seu acceleròmetre i el seu sensor de temperatura per a la recaptació de dades i la seva antena de RF per a l'enviament de missatges. Per a comandar la placa s'ha utilitzat el microcontrolador PIC18F4520 a mode de host muntat a sobre de la placa Open18F4520, de la que s'utilitzen alguns perifèrics addicionals, com un brunzidor i diferents timers. Per a la comunicació entre les dos plaques s'han utilitzat dos UARTs.

En la primera fase del projecte s'ha realitzat un estudi de la tecnologia IoT, de com s'està desenvolupant dia a dia i com afectarà a la societat en els propers anys. També s'ha explicat la situació actual del servei de Bicing i s'han proposat diferents millores, de les quals s'ha realitzat una tria per escollir les millors. Després s'han descrit els diferents components utilitzats en el dispositiu, detallant les comandes que s'han utilitzat per a comandar la placa TD1204, utilitzant un intèrpret de comandes que porta integrat.

Un cop escollides les aplicacions, s'ha explicat el programa que s'ha desenvolupat utilitzant l'entorn de desenvolupament *MPLAB IDE*, explicant el funcionament de les diferents aplicacions que s'han dissenyat. El dispositiu proporciona un sistema de detecció d'accidents, un sistema antirobatori i finalment un monitoratge de temperatura.

Per acabar, s'han donat algunes pautes per la implementació del dispositiu en les bicicletes.

El resultat ha estat una aplicació pràctica i senzilla que té el potencial per convertir-se en una gran millora del servei de Bicing, alhora que serveix d'exemple de les innumerables millores que la tecnologia de l'IoT està suposant en la qualitat de vida de les persones actualment.



# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>3</b>
<b>1. GLOSSARI</b>	<b>5</b>
<b>2. ÍNDEX DE FIGURES</b>	<b>7</b>
<b>3. ÍNDEX DE TAULES</b>	<b>9</b>
<b>4. PREFACI</b>	<b>10</b>
4.1. Origen del projecte.....	12
4.2. Motivació .....	13
4.3. Requeriments previs .....	13
<b>5. INTRODUCCIÓ</b>	<b>14</b>
5.1. Objectius del projecte .....	14
5.2. Abast del projecte .....	14
<b>6. APLICACIONS PROPOSADES</b>	<b>17</b>
6.1. Geolocalització de les bicicletes .....	17
6.2. Comprovació del nivell de càrrega i funcionament de la bateria.....	17
6.3. Comprovació del nivell de pressió i de la presència de pinxades en les rodes .....	17
6.4. Detecció d'accidents.....	18
6.5. Avís de quilòmetres realitzats.....	18
6.6. Vibracions .....	18
6.7. Informació en temps real dels llocs disponibles en les estacions.....	18
6.8. Identificació de les bicicletes espatllades en temps real.....	19
<b>7. DISPOSITIUS UTILITZATS</b>	<b>20</b>
7.1. TD1204. Dispositiu i EVB (placa d'avaluació) .....	20
7.2. Microchip PIC18F4520 i placa Open18F4520 .....	22
7.3. Eines de desenvolupament.....	24
7.4. Perifèrics .....	25
7.4.1. Acceleròmetre.....	25
7.4.2. GPS .....	29
7.4.3. Antena de RF.....	33
7.4.4. Sensor de temperatura .....	35

7.4.5. Brunzidor.....	35
7.4.6. Altres .....	36
<b>8. IMPLEMENTACIÓ FINAL .....</b>	<b>37</b>
8.1. Aplicacions escollides .....	37
8.2. Limitacions .....	37
8.3. Programa.....	38
8.3.1. Inicialització .....	38
8.3.2. Sistema de detecció d'accidents.....	41
8.3.3. Sistema antirobatori.....	44
8.3.4. Monitoratge de temperatura.....	44
8.3.5. Avís bicicleta espatllada.....	44
8.4. Implementació a les bicicletes.....	44
<b>9. ANÀLISI ECONÒMIC .....</b>	<b>46</b>
9.1. Elaboració prototip .....	46
9.2. Implementació en les bicicletes.....	48
<b>10. ANÀLISI AMBIENTAL .....</b>	<b>50</b>
<b>11. PLANNING DEL PROJECTE .....</b>	<b>51</b>
<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>52</b>
<b>AGRAÏMENTS .....</b>	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>54</b>
Referències bibliogràfiques.....	54
Referències bibliogràfiques de les taules i figures.....	56
Bibliografia complementària.....	57



# 1. Glossari

- $\mu$ C (microcontrolador): Circuit integrat que conté una CPU, memòria de programa, memòria de dades i una circuiteria que forma la unitat d'entrada/sortida i perifèrics.
- $\mu$ P (microprocessador): dispositiu electrònic fabricat en forma de circuit integrat que conté una CPU (unitat central de processament). Es tracta d'un sistema digital de propòsit general del tipus seqüencial basat en registres i programable.
- A/D Converter (Analog/Digital Converter): Convertidor analògic/digital.
- CI (circuit integrat): xip on es troben tots els components electrònics necessaris per realitzar una funció.
- EVB (Evaluation Board): Placa de circuit imprès que conté un microcontrolador i que serveix per aprendre a programar-lo i per desenvolupar aplicacions.
- FIFO Buffer (first in, first out): Tipus de memòria on es dictamina que la primera dada en entrar serà també la primera en sortir.
- Gateway: dispositiu que permet interconnexionar xarxes que utilitzen arquitectures diferents, és una porta d'enllaç amb una xarxa.
- GPIO (General Purpose Input/Output): Pin programable d'entrada/sortida de propòsit general.
- GPS (Global Positioning System): sistema de navegació per satèl·lit que permet saber amb molta precisió la pròpia situació geogràfica.
- HDOP(Horitzontal Diluition of Position): valor que estima la precisió de les dades del GPS respecte longitud/latitud.
- I/O Ports (Input/Output Ports): ports d'entrada/sortida.
- I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit): bus digital per a connectar nodes dins del mateix PCB (Printed Circuit Board): placa de circuit imprès.
- ICSP(In Circuit Serial Programming): tecnologia que habilita al microcontrolador a ser programat mentre està instal·lat en un sistema.
- IDE ("Integrated Developed Enviornment"): entorn de desenvolupament que agrupa diferents eines de desenvolupament en un sol programa.
- IoT (Internet of Things): Internet de les coses.

- IP (Internet Protocol): nombre que identifica un dispositiu lògic connectat a la xarxa.
- LVTTTL (Low Voltage Transistor-Transistor Logic): subsistema de TTL per a fonts d'alimentació de 3,3 V. Classe de circuit digital construït a partir de BJTs i resistències.
- M2M (Machine to Machine): concepte que es refereix a l'intercanvi d'informació entre dos màquines.
- NMEA (Nationale Marine Electronics Association) : associació que ha creat les especificacions que serveixen per a llegir les dades del GPS.
- Prescaler: divisor de freqüència programable.
- PWM (Pulse-Width Modulation): Tècnica per a codificar un missatge dins d'un senyal de pols. És un tipus de modulació.
- RF (Radio frequency): Radiofreqüència, entre 3Hz i 300GHz.
- RISC(Reduced Instruction Set Controller).
- TD (Telecom Design): empresa especialitzada en el M2M.
- TDD (Time Division Duplexing): tècnica per a convertir un canal símplex (unidireccional) en un canal dúplex (bidireccional) separant els senyals enviades i rebudes en intervals de temps diferents sobre el mateix canal multiplexant per divisió de temps.
- Timer: perifèric que serveix per a contar esdeveniments/temps entre altres funcions.
- TPMS ("Tyre Pressure Monitoring System"): sistema per al monitoratge de la pressió en neumàtics.
- UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter): perifèric que facilita la transmissió sèrie asíncrona de dades.

## 2. Índex de Figures

Fig. 1. Evolució IoT. Font: pròpia.	11
Fig. 2. Comunicació entre dispositius. Font: pròpia.	21
Fig. 3. TD1204. Font: pròpia.	22
Fig. 4. PIC18F4520. Font: [1]	23
Fig. 5. Open18F4520. Font: [2]	24
Fig. 6. MPLAB ICD3. Font: [3]	25
Fig. 7. Acceleròmetre. Font: pròpia.	25
Fig. 8. Mal funcionament cua circular. Font: pròpia.	27
Fig. 9. Resposta comanda ATS650=1,1,1,2,1. Font: pròpia.	27
Fig. 10. Resposta comanda ATS650=1,0,1,2,0. Font: pròpia.	28
Fig. 11. Relació angle inclinació / component Rz. Font: [4]	29
Fig. 12 Antena GPS. Font: pròpia.	30
Fig. 13. Antena GPS. Font: pròpia.	30
Fig. 14. Resposta comanda AT\$GPS (terminal). Font: pròpia.	32
Fig. 15. Antena RF. Font: pròpia.	34
Fig. 16. Exemple registre telèfon mòbil. Font: pròpia.	35
Fig. 17. Resposta al registre. Font: pròpia.	35
Fig. 19. Brunzidor. Font: [5]	36
Fig. 20. Ona quadrada. Font: pròpia.	36

Fig. 21. Cua circular. Font: pròpia.	40
Fig. 22. Cadenes de longitud i latitud. Font: pròpia.	42
Fig. 23. Diagrama sistema detecció accidents. Font: pròpia.	43
Fig. 24. Placa TD1205. Font: [6]	45
Fig. 25. Diagrama de Gantt. Font: pròpia.	51



### 3. Índex de Taules

Taula 1. Evolució IoT. Font: pròpia.	10
Taula 2. Informació GPGGA. Font: pròpia.	33
Taula 3. Cost material i programari. Font: pròpia.	46
Taula 4. Cost sou enginyer. Font: pròpia.	47
Taula 5. Cost consum recursos. Font: pròpia.	47
Taula 6. Cost total projecte. Font: pròpia.	48
Taula 7. Inversió inicial. Font: pròpia.	49

## 4. Prefaci

El Internet de les coses o IoT (per les sigles en anglès de ‘Internet of Things’) és un concepte que es refereix a la interconnexió de objectes quotidians amb Internet. Suposa una nova manera de veure el Internet, que té com a objectiu establir una xarxa mundial d’objectes connectats. Actualment només l’1% dels objectes estan connectats, però les previsions de futur auguren un món on gairebé tots els objectes de la vida quotidiana estiguin connectats i siguin capaços de transmetre informació en temps real.

Un altre significat del terme Internet de les coses (o Internet dels objectes) fa referència al moment en el que es van connectar a Internet més objectes que persones. Com es pot veure en el següent diagrama, aquest fet es va produir durant l’any 2008.

Any	2003	2010	2015	2020
<b>Població mundial</b>	6,3e9	6,8e9	7,2e9	7,8e9
<b>Dispositius connectats</b>	0,5e9	12,5e9	25e9	50e9
<b>Dispositius per persona</b>	0,08	1,84	3,47	6,58

*Taula 1. Evolució IoT. Font: pròpia.*

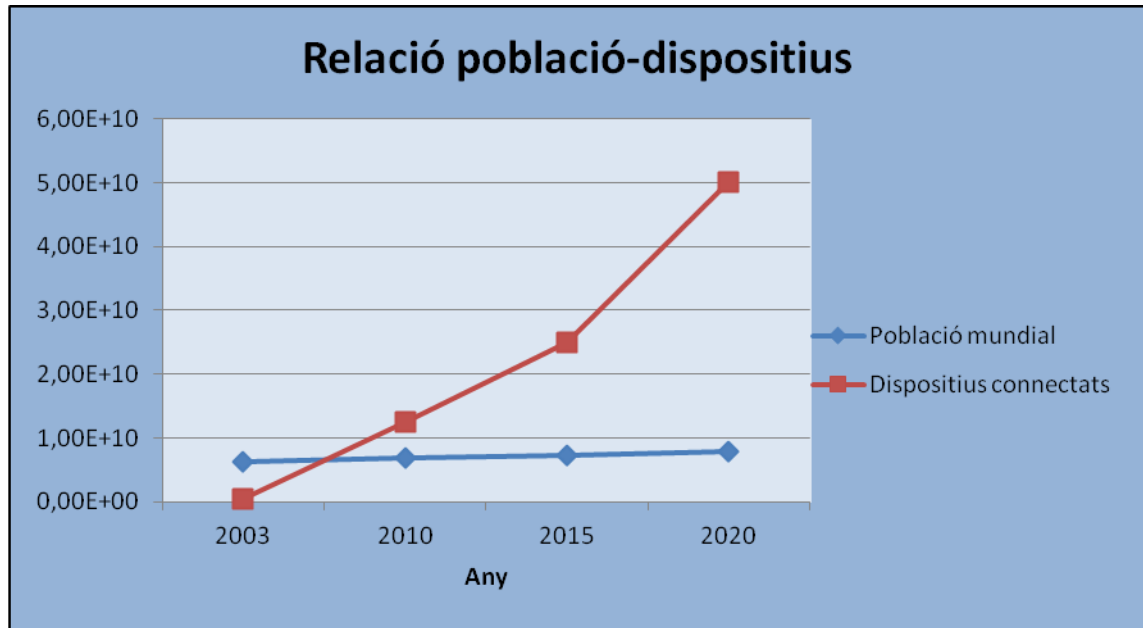


Fig. 1. Evolució IoT. Font: pròpia.

La captació i transmissió de dades en temps real mitjançant sensors suposa una gran millora en front a la presa de dades tradicional (l'ésser humà és molt deficient a l'hora de fer una presa de dades en front a una màquina). Equipar actuadors amb aquesta tecnologia suposa una interacció amb l'entorn fins ara inaccessible.

En pràcticament tots els sectors el Internet de les coses suposarà una millora rellevant:

- **Agricultura i ramaderia.**
- **Transport i logística.**
- **Construcció.**
- **Electrònica de consum i edificis intel·ligents.**
- **Serveis d'emergència i seguretat.**
- **Atenció sanitària.**
- **Fabricació i cadenes de subministrament.**

- **Venta minorista i recreació.**
- **Transport i ciutats intel·ligents.**
- **Serveis públics.**

La connexió dels objectes a la xarxa es fa utilitzant xips i circuits relativament barats (en comparació amb els que porta incorporat un telèfon intel·ligent, per exemple) però perfectament capaços de realitzar tasques específiques. Cada objecte connectat té una IP específica, per la que pot ser cridat per rebre instruccions. Aquests dispositius estan equipats per poder enviar informació a un servidor de manera pràcticament gratuïta, però amb l'inconvenient de que l'enviament de dades està limitat a uns pocs bytes al dia, fet que no impedeix que puguin realitzar multitud de tasques específiques tals com alarmes, enviament de dades, etc.

#### **4.1. Origen del projecte**

Actualment hi ha gairebé 100.000 abonats al servei “Bicing”, que es serveix de 6.000 bicicletes i que són utilitzades més d'un milió de cops al mes. Això equival a que cada dia més de 200 bicicletes hagin de passar pel taller de reparació. A més, centenars de bicicletes són robades al més, la majoria són trobades pels voltants de la zona metropolitana, abandonades. Cada dia es registren entre 150 i 200 actes de vandalisme relacionats amb el Bicing.

Un altre problema important són els accidents. Des del 2008 els desplaçaments en bicicleta a la ciutat han augmentat en un 25%, en gran part gràcies al servei de “Bicing”, el que ha suposat que el nombre d'accidents amb ciclistes implicats hagi augmentat fins a superar el mig miler d'accidents anuals.

Per tots aquests motius, equipar les bicicletes del servei “Bicing” amb la tecnologia de l'IoT pot suposar una gran millora en el servei gràcies a que es poden crear multitud d'aplicacions

per millorar el servei i la seguretat dels seus usuaris.

## 4.2. Motivació

El principal motiu pel que s'ha dut a terme aquest projecte és la possibilitat d'assolir uns coneixements més exhaustius sobre l'IoT, ja que es tracta d'una tecnologia en constant desenvolupament i amb un potencial incomparable.

El projecte ajuda a entrar en contacte amb una tecnologia que suposarà una revolució en els propers anys, si no ho està fent ja, i transformarà radicalment la manera de viure de les persones.

## 4.3. Requeriments previs

Abans de posar-se a pensar en possibles aplicacions ha estat necessari familiaritzar-se amb les eines que es faran servir per a dissenyar-les i aplicar-les.

Per començar, s'han analitzat els diferents components i característiques de la placa de desenvolupament TD1204 [3] [4], s'ha instal·lat el software necessari (terminal “*Realterm*” i “u-center” de la companyia Ublox per a descodificar les trames enviades per l'antena GPS) i s'han estudiat les diferents comandes que es poden enviar a la placa [5].

També s'han estudiat els components del microcontrolador PIC18F4520 [8], així com de la placa Open18F4520 [9]. Mitjançant alguns treballs previs realitzats a l'assignatura *Desenvolupament d'Aplicacions Basades en Microcontroladors* ha estat possible familiaritzar-se amb l'entorn de desenvolupament MPLAB IDE i amb totes les seves funcions [10] [11] [12].

També ha estat interessant informar-se sobre el treball de fi de màster que ha realitzat, abans i contemporàniament a la realització d'aquest projecte, l'alumne Israel Terán Lozano: *Internet de les coses: una primera aproximació utilitzant la tecnologia SIGFOX*.

## 5. Introducció

### 5.1. Objectius del projecte

Aquest projecte es posa com a objectiu principal la millora del servei de Bicing, tant de les bicicletes elèctriques com de les convencionals, desenvolupant aplicacions que informin de l'estat d'aquestes en temps real.

Un altre propòsit que es vol dur a terme és l'aprofundiment en el món de l'IoT, una tecnologia en ple auge i que cada dia evoluciona i creix fent pensar que suposarà una revolució en el món de la tecnologia en els propers anys. Aquest projecte és una gran oportunitat per poder veure com aquesta tecnologia pot afectar de manera positiva a molts dels serveis públics actuals, millorant-los i a la llarga, podent reduir el seu preu.

Per assolir aquests objectius utilitzarem la placa *TD1204*, fabricada per l'empresa SIGFOX. Aquesta placa porta incorporat un microcontrolador i varis perifèrics, tals com un receptor GPS, un acceleròmetre i un transceptor de radiofreqüència.

S'utilitzarà el microcontrolador *PIC18F4520* com a "host", programat mitjançant el programa *MPLAB IDE*, per comandar la placa i diversos perifèrics addicionals de manera que es pugui transmetre tota la informació sobre l'estat de les bicicletes en temps real i es pugui actuar en conseqüència d'una manera ràpida i eficient.

### 5.2. Abast del projecte

El propòsit final del projecte és el d'escollir les aplicacions que es considerin més útils, desenvolupar-les i testear-les de forma que funcionin a ple rendiment i transmetin informació de forma continuada. Es construirà un prototip funcional de laboratori, equipat amb el software i el hardware dissenyats. També es faran els conseqüents anàlisis econòmic i ambiental per avaluar el impacte que suposaria la implementació del projecte a la pràctica a la ciutat de Barcelona.

L'abast d'aquest projecte no inclou la implementació de les aplicacions ni l'estudi de viabilitat.





## **6. Aplicacions proposades**

### **6.1. Geolocalització de les bicicletes**

Al portar un GPS incorporat, les bicicletes poden estar localitzades en tot moment, reduint el risc de robatoris i facilitant la seva recuperació en el cas que es produïssin. A més, es podria anticipar les zones on hi haurà més moviment de bicicletes abans de que arribin a les estacions respectives, per tal d'iniciar abans els serveis de recollida i subministrament d'aquestes.

El GPS també podria indicar la localització d'un possible accident, de manera que els serveis d'emergència poguessin arribar-hi més ràpidament.

### **6.2. Comprovació del nivell de càrrega i funcionament de la bateria.**

Tan en el cas de les bicicletes convencionals (amb una bateria per alimentar el dispositiu) com en les bicicletes elèctriques, es pot saber l'estat de les bateries en temps real mitjançant un voltímetre. D'aquesta manera, es podria emetre un senyal d'alerta en cas que la bateria estigués apunt de buidar-se.

### **6.3. Comprovació del nivell de pressió i de la presència de pinxades en les rodes**

Mitjançant un TPMS [13], un sistema de monitoratge de la pressió dels pneumàtics, es pot saber la pressió de les rodes, així com l'existència de pinxades en aquestes i alertar en cas d'incidències per poder procedir a la seva reparació més ràpidament.

## 6.4. Detecció d'accidents

Mitjançant un acceleròmetre s'informa de canvis bruscs en l'acceleració, possiblement deguts a accidents, de manera que es pugui proporcionar una ajuda ràpida als implicats en l'accident de trànsit, activant una alarma d'accident que s'enviarà en forma de missatge al 112, indicant la localització de l'accident proporcionada pel GPS. També es pot incorporar un giroscopi (o simular-lo utilitzant l'acceleròmetre) per poder saber l'orientació de la bicicleta i tenir un altre indicador d'accidents.

Aquest sistema s'aplicarà en els vehicles de la Unió Europea per part d'una iniciativa de la Comissió Europea anomenada eCall [15].

## 6.5. Avís de quilòmetres realitzats

Un hodòmetre pot anar calculant els quilòmetres realitzats per la bicicleta i alertar cada certa distància recorreguda per poder procedir a la seva revisió.

## 6.6. Vibracions

Un acceleròmetre podria funcionar com a sensor de vibracions de forma que al detectar cotes altes de vibracions es podria informar de que la bicicleta no està funcionant correctament.

## 6.7. Informació en temps real dels llocs disponibles en les estacions

Es podria incloure un panell en la bicicleta que anés informant a l'usuari de l'estat de les estacions més pròximes, de manera que aquest pogués escollir a on estacionar la bicicleta.

## **6.8. Identificació de les bicicletes espatllades en temps real**

Mitjançant un interruptor, l'usuari podria alertar del mal funcionament de la bicicleta degut a diverses causes possibles (mal funcionament seient, rodes, canvi de marxes, manillar, etc.).

## 7. Dispositius utilitzats

### 7.1. TD1204. Dispositiu i EVB (placa d'avaluació)

El TD1204 és un dispositiu d'alt rendiment i baix corrent. El seu funcionament sense fils juntament amb l'ampli rang de tensions d'alimentació (2,3-3,6V) i al poc consum de corrent (2.5  $\mu$ A en mode idle) fa que sigui una bona opció alimentar-la mitjançant bateries, fet que li aporta una gran autonomia.

Opera com un transceptor dúplex per divisió de temps (TDD), transmetent i rebent dades alternadament.

El TD1204 de Telecom Design incorpora:

- Un processador ARM Cortex M3 de banda base de 32 bits.
- Un transceptor de RF.
- Un receptor GPS d'alta eficiència.
- Acceleròmetre 3D amb detecció de moviment i caiguda lliure.
- Interfícies digitals i analògiques.
- Un LVTTTL UART de baixa potència.
- Un bus I<sup>2</sup>C.
- Timers amb capacitats per contar pols (input) o PWM (output).
- Dos convertidors A/D d'alta resolució i rapidesa i un convertidor D/A.
- Varis pins d'entrada/sortida (GPIO).

El dispositiu porta integrat un intèrpret de comandes "AT" per facilitar la interconnexió amb un altre dispositiu que opera com a host enviant les comandes en mode AT i rebent les respostes a aquestes comandes.

Per poder comunicar-se amb el host (el microcontrolador PIC18F4520), ambdós dispositius disposen d'una UART amb dos pins, el Tx per enviar informació i el Rx per rebre-la.

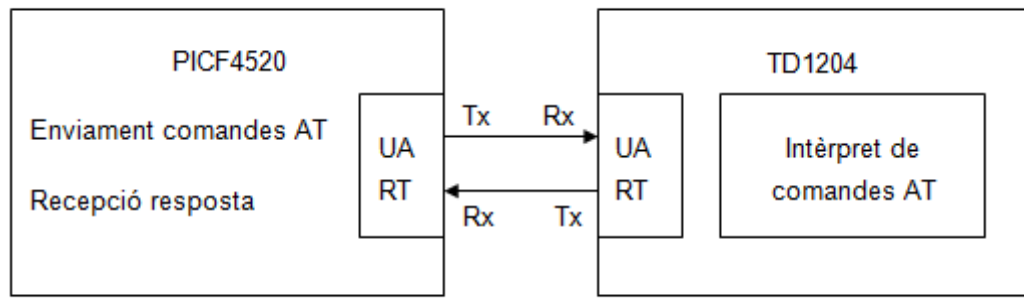


Fig. 2. Comunicació entre dispositius. Font: pròpia.

Abans de començar a dissenyar les aplicacions s'ha utilitzat el manual de referència [5] i el terminal *RealTerm* del dispositiu, per familiaritzar-se amb les comandes disponibles i preparar el dispositiu per a que la transmissió/recepció bidireccional de dades funcioni correctament. Amb aquesta finalitat, s'han definit alguns paràmetres utilitzant les comandes:

**AT** ➔ retorna "OK".

**ATEx** ➔ determina si les comandes AT es mostren en el terminal ( $x=1$ ) o no ( $x=0$ ), de manera que només es veuen les respostes. Aquest fet és especialment important, ja que a l'hora d'emmagatzemar les respostes en una cua, aquesta no s'omple innecessàriament amb les comandes que s'envien.

**ATQx** ➔ determina si la placa envia codis de resultat ( $x=0$ ) o no ( $x=1$ ). És evident que es necessiten les respostes.

**ATVx** ➔ determina si la resposta utilitza salts de línia (<CL>) i salts de carro (<CR>) i està mode verbós ( $x=1$ ) o si no n'utilitza i està en mode numèric ( $x=0$ ). Per les aplicacions és necessari introduir ATV1.

**ATXx** ➔ determina si la resposta es transmet en mode normal ( $x=0$ ) o en mode estès ( $x=1$ ). S'utilitzarà el mode estès.

**AT&W** ➔ guarda la configuració dels paràmetres.

Tan per rebre dades dels diferents perifèrics com per enviar missatges mitjançant l'antena de RF, s'utilitzaran diferents comandes que s'explicaran més endavant.

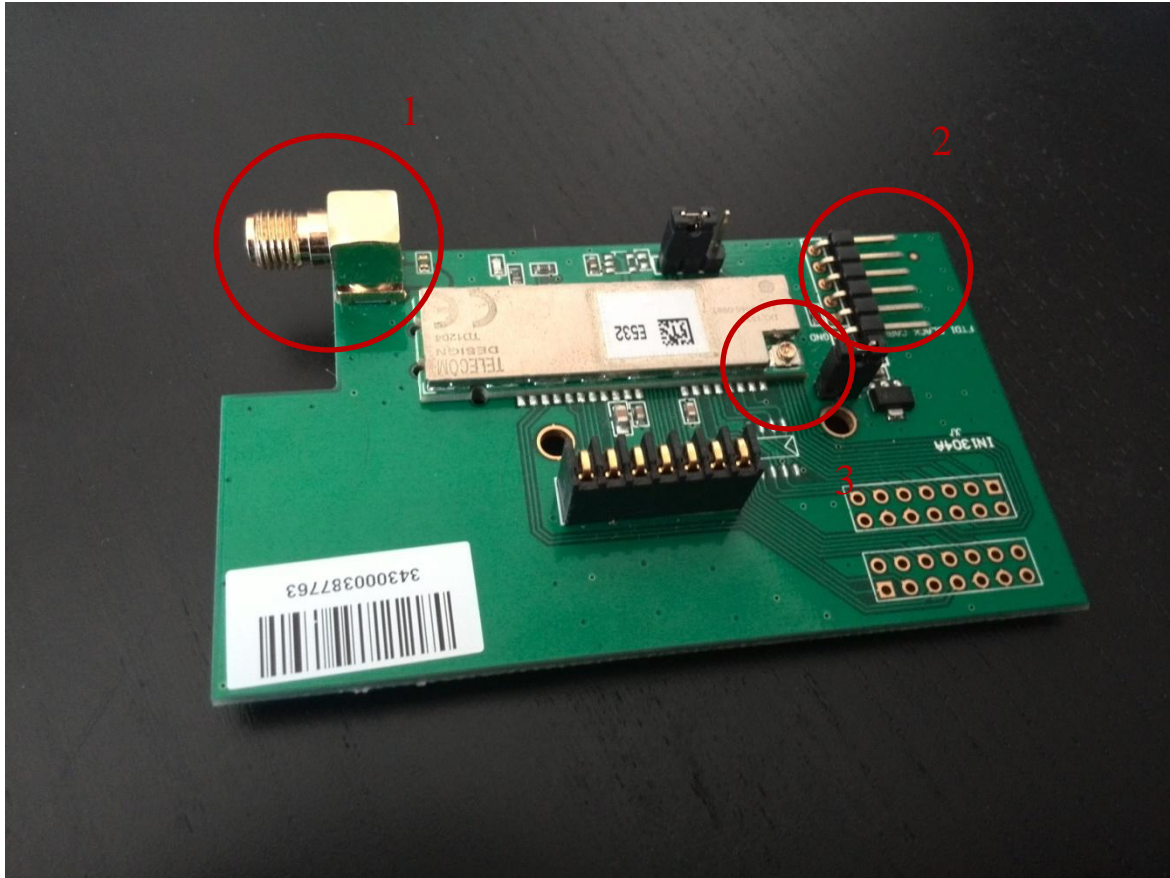


Fig. 3. TD1204. Font: pròpia.

1. Interfície antena RF.
2. UART + alimentació 5 V.
3. Interfície antena GPS.

## 7.2. Microchip PIC18F4520 i placa Open18F4520

El PIC18F4520 [8] és un microcontrolador de 8 bits tipus RISC que presenta una arquitectura de memòria tipus Harvard amb 32 KBytes de memòria de programa i 1536 Bytes de memòria de dades, dividida en 6 bancs de memòria. Pot operar a una freqüència màxima de 40 MHz.

Conté 5 grups de ports I/O i varis perifèrics, tals com 4 timers, un convertidor A/D i una UART.



*Fig. 4. PIC18F4520. Font: [1]*

Pel que fa a la placa Open18F4520 (amb el conjunt B de perifèrics) [9] , s'ha utilitzat per connectar el microcontrolador de manera que operi com a host i controli a la placa TD1204. Les principals parts que s'han utilitzat han estat el regulador a 3.3V, la interfície de la UART i varis perifèrics addicionals que es comentaran més endavant.

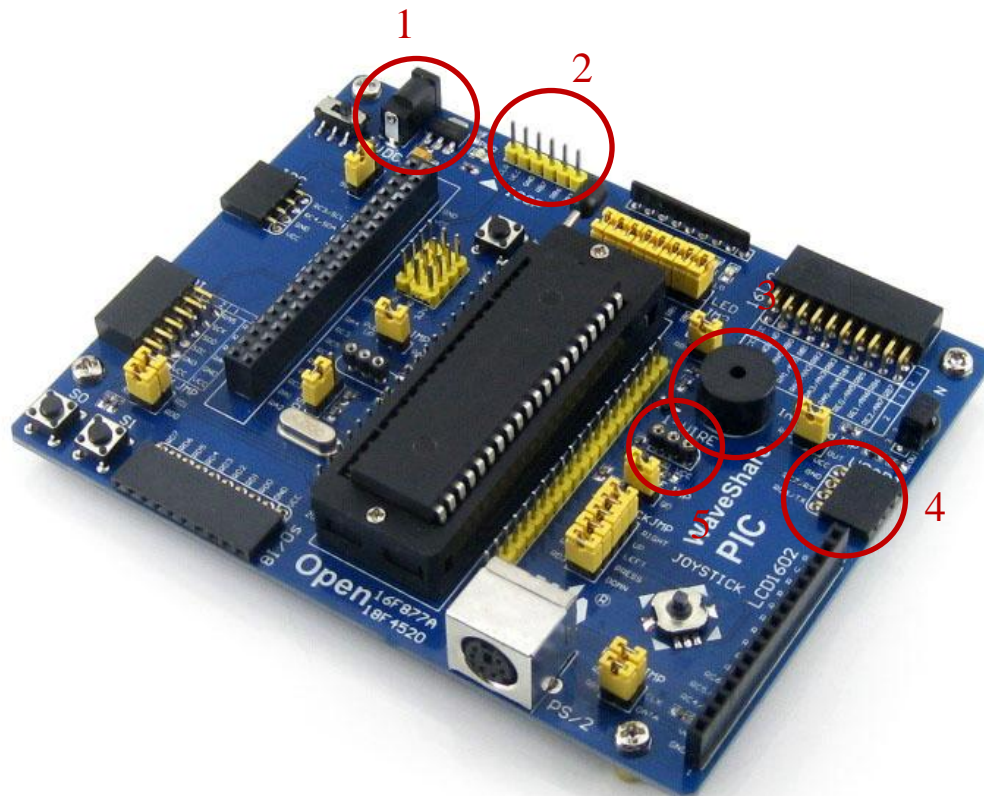


Fig. 5. Open18F4520. Font: [2]

1. Interfície alimentació a 5 V.
2. ICSP per a programar i depurar.
3. Brunzidor.
4. UART.
5. Bus digital 1-Wire.

### 7.3. Eines de desenvolupament

Per a generar el software s'utilitza el *MPLAB IDE*, un entorn de desenvolupament integrat que ajunta diferents funcions en un sol programa. Opera alhora com a editor de codi, compilador, enllaçador i simulador.

Per depurar el programa i passar-lo al microcontrolador s'utilitza el dispositiu (programador/depurador) *MPLAB ICD 3*.





Fig. 6. MPLAB ICD3. Font: [3]

## 7.4. Perifèrics

### 7.4.1. Acceleròmetre

L'acceleròmetre és la peça clau pel que fa a la detecció d'accidents. Serveix tan per comprovar els valors de l'acceleració com per a deduir si la bicicleta està en posició vertical o horitzontal, utilitzant-lo per simular un giroscopi [17].



Fig. 7. Acceleròmetre. Font: pròpia.

S'ha utilitzat l'acceleròmetre que porta incorporat la placa TD1204, tan per enviar l'ordre d'inici de captació de dades com per llegir-les s'ha utilitzat la UART.

La comanda que s'ha d'enviar a la placa TD1204 és:

**ATS650 = <permetre>, <alimentació>, <cadència>, <escala>, <filtre>**

On:

- <permetre> és 0 si el monitoratge està desactivat i 1 en cas contrari.
- <alimentació> és 0 si s'utilitza en mode d'alta resolució o 1 en mode de baixa resolució (consumint menys). Un dels principals objectius en el disseny de la nostra aplicació és el de minimitzar el consum, pel que s'ha posat l'acceleròmetre en mode de baixa resolució.
- <cadència> es refereix a la freqüència de presa de dades i pot anar de 1 a 4, sent els valors possibles 1, 10, 25 i 50 Hz respectivament.
- <escala> es refereix a l'escala de l'acceleròmetre i pot prendre els valors 2 ( $\pm 2g$ ), 4 ( $\pm 4g$ ), 8 ( $\pm 8g$ ) i 16 ( $\pm 16g$ ). Per l'aplicació en qüestió, una escala de  $\pm 2g$  és adequada.
- <filtre> es refereix a l'activació (1) o no (0) d'un filtre passaalt que suprimeix l'efecte de la gravetat en les lectures de l'acceleròmetre. Si no es passa el filtre, els valors dels tres eixos es veuen influenciats per la gravetat, fet que contamina les lectures i dificulta la detecció d'accidents. Per això s'ha decidit utilitzar el filtre.

En un principi s'havia pensat fixar un valor límit a l'acceleració, però degut en una errata en el software del dispositiu els valors obtinguts no es corresponen amb la realitat.

Aquests valors són proporcionals als reals, pel que s'ha decidit utilitzar la derivada dels valors de l'acceleració per poder detectar canvis bruscs.

$$\alpha = \frac{a(T * (K + 1)) - a(T * K)}{T}$$

On:

- $\alpha$  és un valor que mesura la rapidesa en el canvi de valors de l'acceleració.
- $a$  és l'acceleració.
- $T$  és el període de mostreig. Segons la freqüència establerta pot ser de 1, 0.1, 0.04 o 0.02 segons.

- K serveix per a identificar el número de la mostra.  $K \in [0, \infty)$ .

És evident que com més petit sigui el període de mostratge, més precisió es tindrà. Per això, a priori, sembla recomanable programar l'acceleròmetre de manera que operi a la màxima freqüència possible. En la pràctica però, es comprova que si es posa una freqüència de mostreig massa gran s'introdueixen un nombre de dades tan elevat en la cua circular que el punter d'entrada a la cua infinita (in) creix més ràpidament que el de sortida (out) a causa del temps que tarda el microcontrolador en executar les operacions, el que deriva en un solapament dels punters, o sigui que les dades es destrueixen.

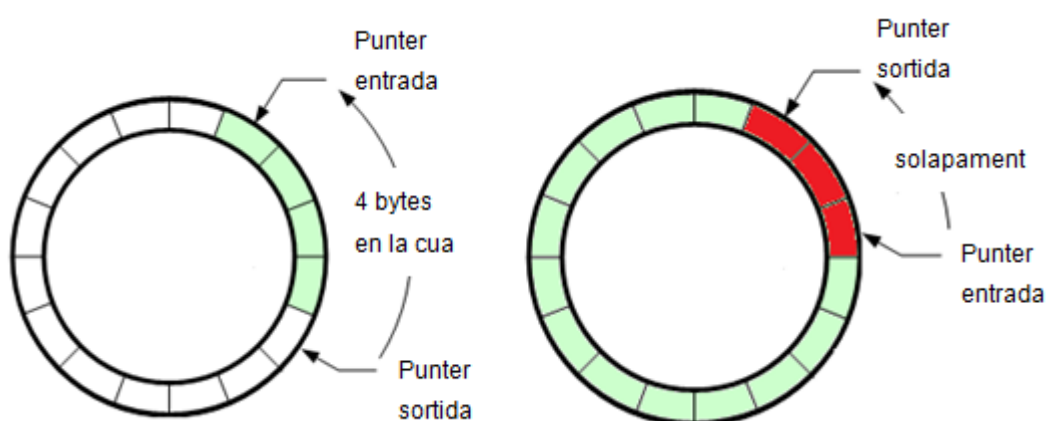


Fig. 8. Mal funcionament cua circular. Font: pròpia.

Per aquest motiu, s'ha decidit que la freqüència de mostreig sigui de 1Hz (una mostra per segon). Els valors inclosos en la comanda seran:

**ATS650=1,1,1,2,1**

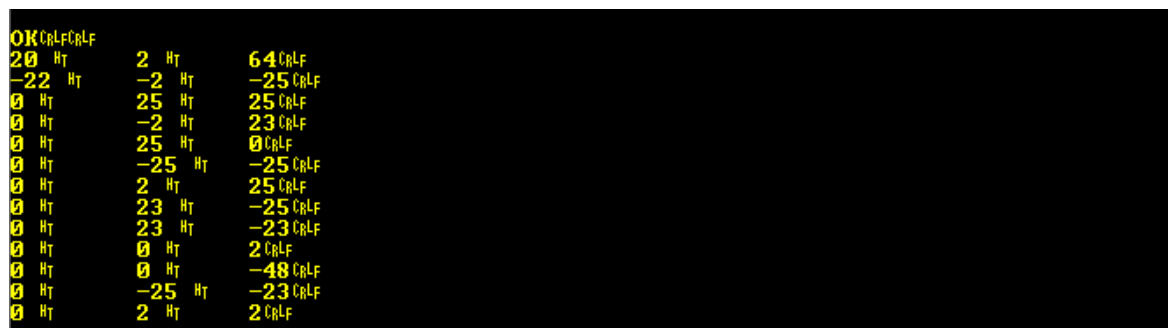


Fig. 9. Resposta comanda ATS650=1,1,1,2,1. Font: pròpia.

Per saber si la bicicleta està o no tombada al terra després d'una forta acceleració s'utilitzarà la component de la gravetat per calcular l'angle sobre els tres eixos. Per això es desactiva el filtre passaalt introduint la comanda corresponent. També es posa en mode d'alta resolució.

**ATS650=1,0,1,2,0**

```
OK\r\n
-128 H_T 64 H_T 3840\r\n
-192 H_T 192 H_T 4032\r\n
-256 H_T 192 H_T 4096\r\n
-128 H_T 192 H_T 4032\r\n
-128 H_T 192 H_T 4032\r\n
-192 H_T 192 H_T 3904\r\n
-192 H_T 256 H_T 4096\r\n
-192 H_T 256 H_T 4032\r\n
-192 H_T 256 H_T 4032\r\n
-192 H_T 320 H_T 4160\r\n
-192 H_T 256 H_T 4032\r\n
-192 H_T 192 H_T 3968\r\n
-128 H_T 192 H_T 4160\r\n
-192 H_T 192 H_T 4096\r\n
```

Fig. 10. Resposta comanda ATS650=1,0,1,2,0. Font: pròpia.

Quan la bicicleta es troba en repòs, l'única acceleració que actua sobre el sensor és la de la gravetat, pel que d'estar aquesta dreta els valors dels eixos haurien de ser:

$$R = (x, y, z) = (0, 0, 1000mg) = (0, 0, 1g)$$

A causa d'una errata en el software, els valors de les lectures no són els esperats, encara que sí són proporcionals, pel que s'ha decidit utilitzar el vector unitari.

Lectura del sensor en repòs i amb l'eix z tangent a la Terra en sentit positiu cap a ella:

$$R = (x, y, z) = (0, 0, 4096) \rightarrow \text{normalitzant} \rightarrow (0, 0, 1g)$$

El mòdul del vector no varia, pel que per normalitzar el vector aquest sempre s'haurà de dividir per 4096 ( $2^{12}$ ).

Així, per saber la inclinació de la bicicleta només caldrà trobar l'angle entre l'eix z (fix al terra) i l'eix R.

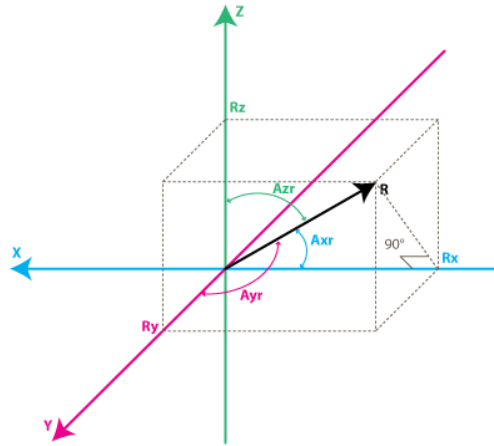


Fig. 11. Relació angle inclinació / component Rz. Font: [4]

$$\cos \theta = \frac{R_z}{R} = R_z \quad \rightarrow \quad \theta = \cos^{-1} R_z$$

On:

- $\theta$  és l'angle d'inclinació
- $R$  és el mòdul del vector (=1)
- $R_z$  és la component z del vector  $R$ .

Es considera que la bicicleta està dreta sempre que  $\theta \in [0, \frac{\pi}{6}]$ .

#### 7.4.2. GPS

El GPS que porta incorporat la placa TD1204 servirà per saber la localització de la bicicleta en el moment en que sigui necessari. Es pot utilitzar tan en cas d'accident com en localització rutinària pel sistema antirobatori. Quan es vulgui utilitzar, s'enviarà la comanda corresponent al dispositiu TD1204 mitjançant la UART i és llegirà la informació, part de la qual s'enviarà mitjançant l'antena de RF.

Les principals característiques d'aquesta antena són:

- Suport múltiple GNSS:

- GPS/GLONASS.
- Augment de serveis SBAS.
- Consum d'energia:
  - 22 mA en mode adquisició.
  - 15  $\mu$ A en mode reserva (backup).
- Sensibilitat:
  - 56-motor de canal.
  - 162 dBm en mode rastrejador.
  - -148 dBm per a arrancada en fred.

Cal posar èmfasi tan en el baix consum com en l'alta sensibilitat de l'antena.



Fig. 13. Antena GPS. Font: pròpia.



Fig. 12 Antena GPS. Font: pròpia.

La comanda que s'ha d'enviar a la placa TD1204 és:

**AT\$GPS=<mode>, <nº mínim satèl·lits>, <hdop màxim>, <temps límit>, <mode final>, <NMEA>**

On:

- <mode> pot ser 0 si s'apaga, 1 si s'encén o 2 si es deixa en mode "hardware backup".

- <nº mínim satèl·lits> és el nombre mínim de satèl·lits que es volen utilitzar per a calcular la posició. Pot anar de 0 a 255.
- <hdop màxim> és el màxim valor del paràmetre hdop per a detectar una posició com a vàlida. Va de 0 a 65535, sent aquest el valor de hdop multiplicat per 100. Si es posa a 0 mai es trobarà una posició vàlida [16].
- <temps límit> Valor límit després del qual, encara que no s'hagi trobat una solució adequada, es mostrarà la posició més pròxima que s'aconsegueixi. Compren un rang de valors entre 0 i 65535 segons, significant aquest últim valor que no s'utilitza un temps límit.
- <mode final> Indica el mode en el que es deixarà el GPS després d'haver transmès la posició. 0 si s'apaga, 1 si es deixa encès o 2 si es deixa en mode *"hardware backup"*.
- <NMEA> Indica la informació que es vol llegir del GPS. 0 si no es vol cap informació, 1 si es volen tots els missatges en codi NMEA o 2 si només es volen tan sols els del tipus GPGGA [16] sent aquesta la frase que conté la informació a utilitzar.

Per poder utilitzar el GPS, aquest s'encendrà en el moment que s'encengui el dispositiu, esperarà fins que trobi una frase GPGGA vàlida (es considerarà vàlida amb un valor hdop de 9 o menor i amb un nombre mínim de satèl·lits de 4) i es posarà en mode "hardware backup", el que suposa una major rapidesa alhora de poder aconseguir les coordenades respecte a si s'hagués d'encendre i configurar cada cop que es volgués utilitzar.

Així, just encendre el programa, s'enviarà la comanda:

**AT\$GPS=1,4,900,65535,2,0**

Quan es vulgui agafar una dada, s'utilitzarà la comanda:

**AT\$GPS=1,4,900,65535,2,2**

Aquesta comanda espera a que el GPS tingui un valor vàlid, retorna aquest valor mitjançant la frase GPGGA i torna a posar el GPS en mode "hardware backup".





l'el·lipsoide WGS84		
Temps des de l'última actualització de DGPS	En blanc	Sense actualització
Identificació de l'estació de referència del DGPS	En blanc	Sense identificació d'estació
Checksum	*6B	Utilitzat pel programa per a comprovar errors de transmissió.

Taula 2. Informació GPGGA. Font: pròpia.

D'aquesta frase s'agafen les coordenades a enviar als serveis d'emergència (latitud i longitud).

Cal comentar que s'han tingut alguns problemes amb l'antena. El primer és la lentitud a l'hora de connectar amb els satèl·lits. Normalment s'ha d'esperar més de dos minuts per aconseguir rebre dades vàlides. A més, si es connecta el dispositiu en espais tancats és probable que el GPS no arribi mai a donar dades vàlides.

#### 7.4.3. Antena de RF

Per poder enviar els missatges d'alarma s'ha utilitzat l'antena de RF, que es troba integrada en la placa TD1204. Les principals característiques d'aquesta antena són:

- Rang de freqüència: ISM 868 MHz.
- Sensibilitat de recepció: -126 dBm.
- Modulació:
  - (G)FSK, 4(G)FSK, GMSK.
  - OOK.
- Potència de sortida màxima: +14 dBm.
- Consum de potència estant activa:
  - 22 µA RX (mode finestra).
  - 37 mA TX @ +10 dBm.



*Fig. 15. Antena RF. Font: pròpia.*

Abans de crear el programa s'han d'introduir les comandes adients a la placa TD1204, de manera que mitjançant una simple comanda sigui capaç d'enviar el missatge desitjat a un número de telèfon determinat. Per això, s'ha introduït la següent comanda.

- **AT\$DP=<índex>,<nombre\_telèfon>** ➔ registra un número de telèfon i envia un missatge de comprovació en el panell del dispositiu. L'índex pot prendre els valors de l'1 al 4 i serveix per a registrar més d'un número diferent, el número del telèfon pot comprendre fins a 18 dígit.

Ha sorgit un problema important en el fet que el número s'introdueix en el registre no correspon amb el que es retorna en el panell del dispositiu, ja que fa alguna mena de conversió que el canvia completament. S'ha intentat posar-se en contacte amb els subministradors per corregir aquest problema, però no ha estat possible fins pocs dies abans de l'entrega de la memòria, pel que s'ha hagut de treballar a contrarellotge per a poder incloure la funció en el programa.



Fig. 16. Exemple registre telèfon mòbil. Font: pròpia.

Emission Time	Reception Time	Type	Payload	Snr (in dB)
2015-06-22 15:54:47	2015-06-22 15:54:48	data	<ul style="list-style-type: none"> <li>Frame Type : srv_frm_data</li> <li>Type : data_phone</li> <li>Entry Id : 0</li> <li>Mobile : 1501893993</li> <li>Value Id : 0</li> </ul>	12.57

Fig. 17. Resposta al registre. Font: pròpia.

- **AT\$SSMS=<missatge>** ➔ envia un missatge de fins a 9 caràcters ASCII (fins a 9 bytes). Aquesta comanda no defineix a quin dels números registrats s'envia el missatge (de fins a 4 possibles, canviant l'índex), pel que el missatge s'enviarà a tots els números guardats.

#### 7.4.4. Sensor de temperatura

Es tracta d'un termòmetre digital que s'utilitza per alertar de temperatures límit que puguin malmetre el dispositiu. En cas que s'activi l'alarma per sobrepassar la temperatura, s'enviarà un missatge d'alerta. Dona la temperatura en °C. Per a obtenir les dades cal utilitzar la comanda:

- **ATI26** ➔ retorna el mòdul de la temperatura en °C.

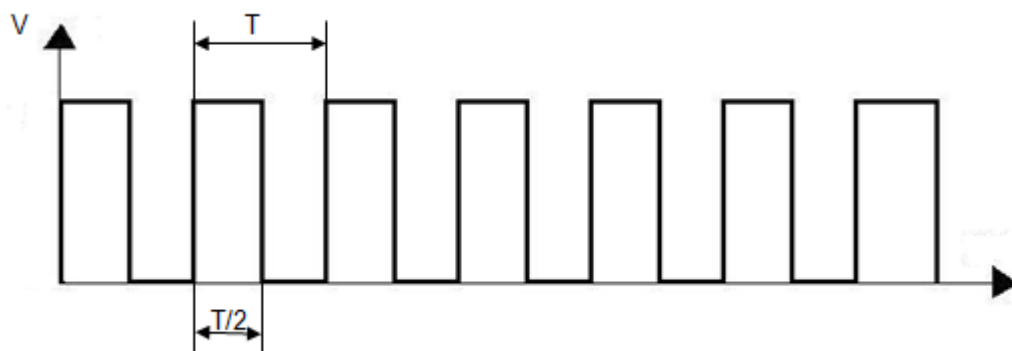
#### 7.4.5. Brunzidor

Per avisar de que l'alarma ha estat activada s'utilitzarà un brunzidor que alertarà de manera sonora que l'acceleròmetre ha detectat una acceleració sospitosa. Si es desactiva l'alarma prement el botó o si passen deu segons, es desactivarà l'alerta sonora.



*Fig. 18. Brunzidor. Font: [5]*

Per activar el brunzidor s'utilitzarà un timer treballant en mode PWM. Fixant els valors del període i fent que el cycle de treball sigui exactament la meitat del període es crea una ona quadrada pura.



*Fig. 19. Ona quadrada. Font: pròpia.*

#### 7.4.6. Altres

A més dels perifèrics mencionats anteriorment, també s'utilitzen altres perifèrics en el funcionament del dispositiu tals com el timer, l'oscil·lador, la UART, diferent botons, etc.

## 8. Implementació final

### 8.1. Aplicacions escollides

Alguns problemes amb el subministrador de la placa TD1204 han suposat que arribi més tard del previst i que en conseqüència, no es puguin realitzar totes les aplicacions que s'havien pensat en un principi.

La principal aplicació escollida ha estat la detecció d'accidents en temps real, tot inclouent-l'hi algunes millores.

Un acceleròmetre va agafant dades dels valors en els tres eixos, dels que se n'extreu el mòdul de l'acceleració. En el moment en que es detecta un canvi brusc en l'acceleració, s'activa una alarma sonora. Des del moment en que s'activa, es disposa de deu segons per prémer un botó estant la bicicleta dreta per tal de desactivar l'alarma. Si, passats aquests deu segons, el botó no s'ha pres o la bicicleta no s'ha aixecat, s'envia un missatge als serveis d'emergència amb la localització de la bicicleta.

També s'inclourà un sensor de temperatura de forma que s'avisi si la temperatura dels dispositius supera un valor llindar.

Per acabar, el sistema també inclourà un sistema antirobatori que enviarà la localització de la bicicleta cada deu minuts des del desancoratge.

### 8.2. Limitacions

La comanda a utilitzar per a enviar els missatges permet només 9 caràcters per missatge, pel que depenent del esdeveniment del que es vulgui informar, aquest s'haurà de dividir en més d'un missatge.

Pel que fa a l'alarma per temperatura, amb un missatge d'alerta serà suficient. Pels sistemes d'alerta d'accident i antirobatori, en canvi, la informació es dividirà en tres missatges. El primer informará del tipus d'alerta, mentre que els altres dos informaran de la longitud i la latitud respectivament. Presentaran la següent forma:

xx°xx'xx" (9 bytes)

En el desenvolupament de les aplicacions s'ha tingut en compte el límit de missatges que es poden enviar. Si bé no existeix una limitació física, per llei es poden enviar un màxim de 140 missatges per RF al dia d'una mida límit de 12 bytes cada un.

Tenint en compte que tant la detecció d'accidents com el monitoratge de temperatura no produiran cap missatge mentre no hi hagi una incidència, no suposen un problema.

Pel que va al sistema antirobatori, cada bicicleta realitza una mitja de 6,4 viatges al dia d'una durada mitja de 13,5 minuts. Com cada deu minuts s'enviaran tres missatges per a la localització de la bicicleta, s'enviaran, de mitja, uns 18 missatges diaris per bicicleta, lluny de la limitació de la normativa.

## 8.3. Programa

En l'elaboració del programa s'han utilitzat diverses eines per aconseguir que l'aplicació sigui el més eficient possible. A continuació s'explicaran els recursos més importants que s'han utilitzat.

### 8.3.1. Inicialització

El primer que fa el programa és fer una crida de totes les llibreries que s'utilitzaran al llarg del d'aquest. També es creen i s'inicialitzen totes les variables globals i es declaren les funcions i les interrupcions. Ja dins el programa principal, s'obren els perifèrics necessaris i es configuren de la manera desitjada. Els perifèrics utilitzats són:

- UART

Utilitza funcions de la llibreria *usart.h*. Es configura sense interrupcions de transmissió, amb 8 bits de dades, en mode asíncron, a velocitat de transmissió de 19200 bits/s i amb una interrupció per recepció d'altra prioritat. També es configura el pin RC6 com a sortida (output) perquè pugui operar com a transmissor (Tx) de la UART.

- Timer0

Utilitza funcions de la llibreria *timers.h*. Aquest timer s'utilitza com a font d'interrupció d'alta prioritat per desbordament. S'utilitza com a comptador de 8 bits amb un prescaler de 4. El

rellotge extern de la placa Open18F4520 opera a 4 MHz. La freqüència d'interrupció és donada per la següent funció:

$$f = \frac{\text{freqüència rellotge}}{4 * 2^n * \text{prescaler}} = \frac{4.000.000}{4 * 256 * 4} = 976,56 \text{ Hz}$$

El que dona una interrupció cada  $T = \frac{1}{f} \approx 0,001 \text{ segons}$ .

A causa de la latència d'interrupció aquest temps es veu incrementat, pel que és necessari introduir un cert valor de precàrrega de la interrupció cada cop que aquesta és cridada, que fa disminuir el comptador del timer per tal de que el temps entre interrupcions sigui exactament de 1 ms. Així, la funció queda modificada:

$$\begin{aligned} f &= \frac{\text{freqüència rellotge}}{4 * (2^n - \text{precàrrega}) * \text{prescaler}} = \frac{4.000.000}{4 * (256 - \text{precàrrega}) * 4} \\ &= \frac{250.000}{256 - \text{precàrrega}} \end{aligned}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{256 - \text{precàrrega}}{250.000}$$

- Timer2

Utilitza funcions de les llibreries *timers.h* i *pwm.h*. S'utilitza com a PWM per a generar una senyal periòdica en forma d'ona quadrada que serveix per a alimentar el bronzidor. Opera amb un prescaler de valor unitat.

Quan s'utilitza el PWM, s'introdueix un valor que serveix per a definir el període. En aquest cas s'ha introduït un valor de 230, el que dona un període de:

$$T = (230 + 1) * 4 * T_{osc} * \text{prescaler} = 231 * 4 * 250e - 9 * 1 = 0,231 \text{ ms}$$

$$\left(T_{osc} = \frac{1}{\text{freqüència relltoge}} = \frac{1}{4\text{MHz}} = 250\text{ns}\right)$$

Aquest període queda definit mitjançant  $n=10$  bits, pel que per a poder crear una ona quadrada quan es vulgui que el bronzidor soni, s'haurà de definir un cicle de treball del 50%, o sigui que s'haurà d'introduir un valor de  $\frac{2^n}{2} = \frac{1.024}{2} = 512$ .

Un cop definits els dos timers i la UART, s'ha procedit a enviar les comandes a la placa TD1204 perquè comenci a treballar.

La biblioteca *usart.h* conté la funció *putsUSART*, que a priori hauria de servir per a enviar les comandes, però a la pràctica aquesta funció no ha funcionat com s'esperava, pel que s'ha hagut de buscar una alternativa. S'ha creat la funció *send\_command(string)*, a més d'altres funcions per a facilitar l'enteniment d'aquesta. Aquesta funció envia la comanda (en codi AT) que es vulgui mitjançant la UART, espera a la validació (la placa TD1204 retorna OK) i situa el punter de sortida en la següent posició de l'últim caràcter de la resposta. Quan es crida la funció se li ha de donar una cadena de caràcters amb la comanda que es vulgui enviar, pel que les diferents comandes s'han guardat prèviament dins la memòria de programa. Un cop obtinguda la comanda, la funció va recorrent la cadena, agafant els caràcters i, mitjançant la funció *Write*, espera a que la UART estigui lliure i els envia un a un.

Abans de enviar les primeres comandes la placa TD1204 podria retornar alguns valors referents a l'acceleració o a coordenades, si no s'ha reiniciat, pel que per seguretat la posició del punter de sortida no s'ha determinat pel nombre de caràcters de la validació (ja que no es tindria en compte la posició d'aquests dins la

Symbol Name	Char
Buffer	
[0]	.
[1]	.
[2]	Validació
[3]	comanda per a
[4]	engegar GPS
[5]	.
[6]	.
[7]	Validació
[8]	comanda per a
[9]	engegar
[10]	acceleròmetre
[11]	.
[12]	2
[13]	0
[14]	.
[15]	.
[16]	.
[17]	5
[18]	Primeres dades
[19]	de provinents de
[20]	l'acceleròmetre
[21]	.
[22]	1
[23]	5
[24]	.

Fig. 20. Cua circular. Font: pròpia.



cua), si no que s'ha creat una funció, anomenada *str\_in\_buffer*, que recorre la cua des de l'última posició coneguda del punter de sortida fins a trobar els tres últims caràcters de la validació ('K',13,10) i situa el punter en la posició següent a la que conté el salt de línia. Aquesta funció necessita la posició del punter de sortida al ser cridada, retornant el nou valor després de haver recorregut la cua. En cas que no trobi la validació, no modificarà la posició del punter de sortida.

La primera comanda que s'ha enviat indica que s'encengui el GPS fins que detecti que es retornen dades vàlides i que llavors el deixi en mode d'espera. Això serveix perquè en el moment en que es vulgui determinar la posició de la bicicleta no es tingui que esperar massa. El temps esperat perquè es detectin dades vàlides és d'uns pocs minuts. A no ser que es produeixi alguna incidència com, per exemple, que no s'arribin a obtenir dades vàlides mai, aquesta comanda farà que l'aplicació funcioni més eficientment.

Tot seguit s'informa de que es vol que comencin a arribar les dades de l'acceleròmetre, mantenint el filtre passaalt per no veure's influenciat per l'efecte de la gravetat i mantenint el mode de baixa resolució fixat. Així, la cua circular va rebent noves dades cada segon, incrementant el valor del punter d'entrada.

### 8.3.2. Sistema de detecció d'accidents

Amb les comandes ja enviades, s'entra en un bucle infinit que va comprovant si la cua circular està buida o no, comparant els valors dels dos punters. En cas que el punter d'entrada sigui més gran que el de sortida, s'entén que han arribat noves dades de l'acceleròmetre, pel que es procedeix a aconseguir el mòdul de l'acceleració utilitzant la funció *acceleration*.

Aquesta funció va recorrent la cua partint del valor del punter de sortida i guardant els valors de l'acceleració en els tres eixos en tres cadenes de caràcters, que posteriorment són convertides en nombres sencers de manera que sigui possible calcular el mòdul. Mitjançant aquesta funció s'aconsegueixen dos coses: la primera és l'obtenció del mòdul de l'acceleració, que es guarda directament en una variable, i la segona el buidament de la cua. Quan es crida la funció se li ha d'informar de que es vol obtenir. En aquest cas se li indica que es vol que retorni el mòdul de l'acceleració.

Una altre variable guarda el valor de l'última acceleració abans de sobreesciure la primera

variable amb un nou valor. D'aquesta manera, és possible calcular la diferència entre dos acceleracions consecutives. Si aquesta diferència supera un valor llindar, s'encendrà una alarma d'accident. En els assajos s'ha utilitzat un valor límit d'aquesta diferència suficientment petit per tal de facilitar l'activació de l'alarma en el moment que es consideri oportú. Per a la posta en marxa de l'aplicació en la pràctica, s'hauria de realitzar un estudi per a determinar aquest valor.

Al activar l'alarma començarà a sonar el bronzidor, es desactivarà el filtre de l'acceleròmetre i s'utilitzarà la interrupció creada pel timer0 per a crear un comptador de 10 segons. Durant aquest temps es podrà desactivar l'alarma complint-se dos condicions al mateix temps. La primera és que es premi un botó i la segona és que la bicicleta estigui dreta. Per saber si la bicicleta està dreta o no s'utilitzarà la funció *angle*, que a partir de la component en z de l'acceleració calcula l'angle d'inclinació. La Rz es troba utilitzant la funció *acceleration*, indicant que es vol que retorni aquesta component. Aquesta funció s'utilitza alhora per buidar la cua.

Tan si s'ha desactivat l'alarma com si no, al cap de deu segons es desactiven el bronzidor i el comptador, reiniciant-lo. Si passats els deu segons l'alarma no s'ha desactivat, s'utilitzarà la funció *pos*, per a obtenir la localització de la bicicleta. Aquesta funció envia una comanda per a apagar l'acceleròmetre i un altre per a que el GPS informi de la localització de la bicicleta i, just després, es torni a posar en mode d'espera. Un cop enviada la comanda, s'entra en un bucle fins que els dos punters no són diferents, per tal d'esperar a que arribin les dades vàlides provinents del GPS. Quan arriben les dades, es va recorrent la cua, agafant el valor de les coordenades i copiant-los en dues cadenes, una per a la longitud i una per a la latitud. Aquesta funció també buida la cua.

Address	Symbol Name	Value
082	⊕ latitude	"41°22'47""
08B	⊕ longitude	"02°07'32""

Fig. 21. Cadenes de longitud i latitud. Font: pròpia.

Per acabar, s'envia un missatge als serveis d'emergència alertant de l'accident, seguit de dos missatges més per informar de la longitud i la latitud. Un cop enviats els missatges, es torna a activar l'acceleròmetre amb el filtre passaalt desactivat de manera que es pugui seguir amb el bucle. A continuació es mostra un diagrama explicatiu del funcionament de l'aplicació:

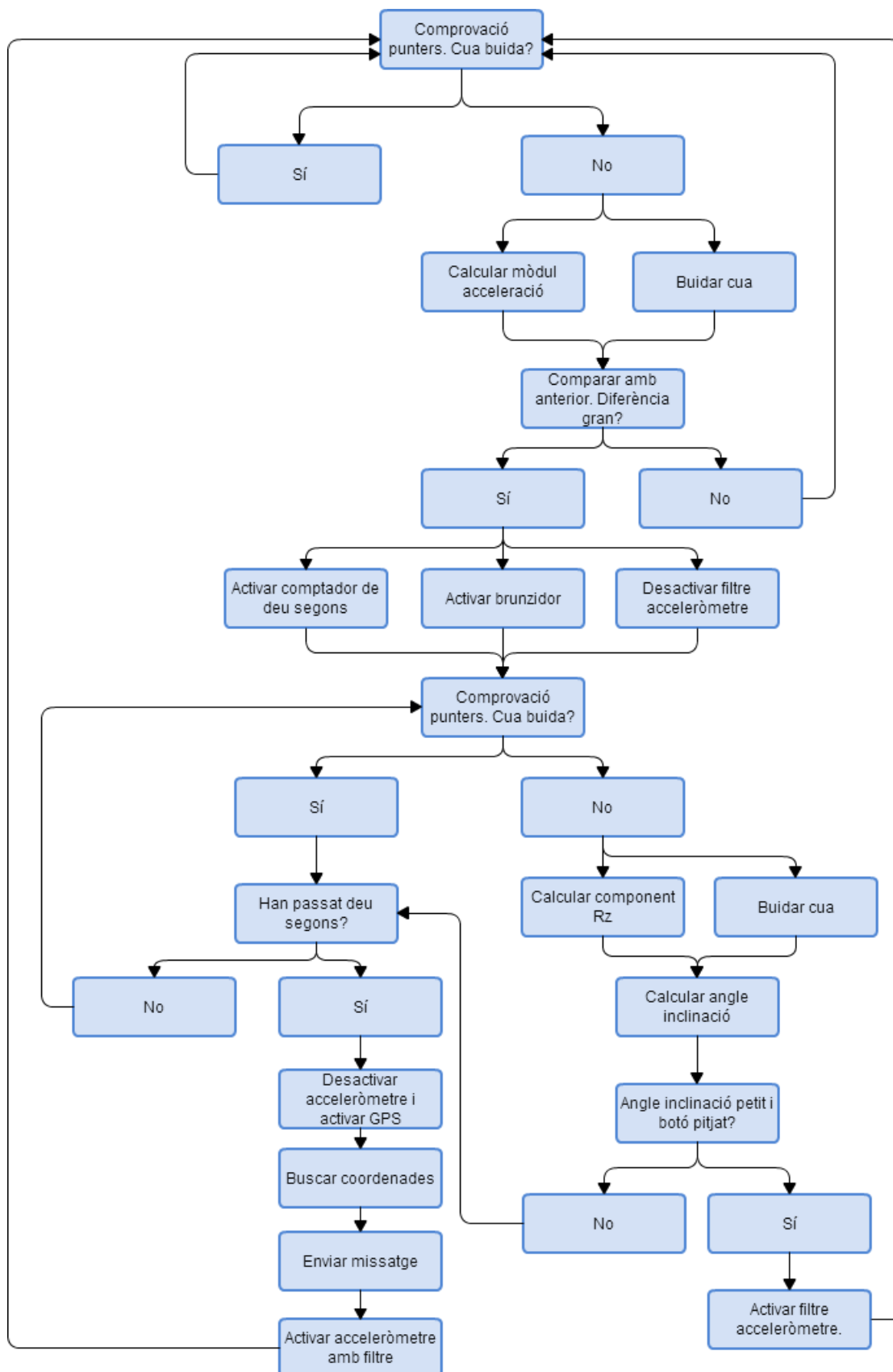


Fig. 22. Diagrama sistema detecció accidents. Font: pròpia.

### 8.3.3. Sistema antirobatori

Des del moment del desancoratge de la bicicleta, s'utilitza el `timer0` com a comptador. Cada deu minuts s'utilitza la funció `pos` per a determinar la posició de la bicicleta i s'envia mitjançant tres missatges, un per a indicar que es tracta del sistema antirobatori i els altres dos per a indicar de la posició. Un cop enviats els missatges, es torna a activar l'acceleròmetre amb el filtre passaalt desactivat, de manera que es pugui seguir amb el bucle. A més, si passades les dos hores encara no s'ha retornat la bicicleta, s'activa el bronzidor de forma ininterrompuda fins que la bicicleta és retornada a una estació.

### 8.3.4. Monitoratge de temperatura

Cada deu segons s'utilitza la funció `temperature` per a obtenir la temperatura a la que es troba el dispositiu. En cas que es trobi fora del llindar límit, s'envia un missatge d'alerta.

### 8.3.5. Avís bicicleta espatllada

Mitjançant el botó connectat al port RD0 es pot avisar del mal funcionament de la bicicleta. Al prémer el botó, s'envia un missatge comunicant que la bicicleta està espatllada.

## 8.4. Implementació a les bicicletes.

El prototip dissenyat és massa gran per a muntar-lo en una bicicleta, pel que només s'utilitza per a la realització del programa i realitzar el primer assaig. Per a poder utilitzar l'aplicació en la pràctica seria necessari reduir la grandària del dispositiu, amb aquesta finalitat s'han pensat dos possibles millores.

La primera és programar directament el processador ARM Cortex M3 de la placa de TD, per a poder eliminar el host i reduir, així, tan la mida com el pressupost del prototip. Això fa que sigui necessari equipar a la placa de TD amb els perifèrics que es connectaven directament al host (en cas que no estiguin integrats).

Per a la realització del projecte s'ha utilitzat la placa d'avaluació TD1204, que, juntament amb les antenes de RF i GPS, fa que es necessiti de molt d'espai per a la seva instal·lació.

Aquest problema es pot resoldre utilitzant la placa TD1205 que, mantenint tots els components de la TD1204, presenta un disseny molt més compacte [7].



Fig. 23. Placa TD1205. Font: [6]

Per al muntatge es dissenyaria un contenidor per a la placa que pogués anar subjecte a la bicicleta. S'ha pensat en utilitzar el programa *SolidWorks* per al disseny, de manera que, utilitzant una impressora 3D, sigui fàcil obtenir prototips per a poder realitzar proves. No s'ha pogut avançar més en el disseny del muntatge al no disposar de la placa TD1205 i al considerar que el muntatge del dispositiu utilitzat és innecessari.

El muntatge en la bicicleta (disseny, elecció materials, implementació, mesures de seguretat i antirobatori de la placa, passar el programa al processador de la placa, etc.) podria suposar un nou TFG.

## 9. Anàlisi Econòmic

S'han realitzat dos anàlisis econòmics. El primer fa referència al cost del projecte, des dels materials fins a l'enginyeria. El segon fa referència al cost que suposaria l'implementació del projecte, es a dir, la col·locació dels dispositius a les bicicletes.

### 9.1. Elaboració prototip

En aquest apartat es calcularà el cost del projecte, distribuït en cost dels materials utilitzats, cost de l'enginyeria i cost dels recursos utilitzats.

Material i programari			
Ítem	Quantitat	Preu unitat (€/uni)	Preu total (€)
PC portàtil amb llicència Windows	1	700	700
Paquet Open 18F4520 B	1	78,62	78,62
Microcontrolador PIC18F4520	1	8,63	8,63
Programador ICD3 de microchip	1	200	200
Placa TD1204	1	120	120
Terminal Realterm (lliure)	1	0	0
MPLAB IDE (lliure)	1	0	0
Programa u-center (lliure)	1	0	0
Total			<b>1107,25</b>

Taula 3. Cost material i programari. Font: pròpia.

En els costos de materials s'inclouen tots els dispositius que s'han utilitzat al llarg de la realització de tot el projecte. També s'han inclòs els costos de programari, però al ser tot lliure no suposa cap càrrec addicional.

Pel que fa al cost de l'enginyeria, s'han calculat els costos corresponents al sou de l'enginyer, fixant un total d'hores corresponents al temps de documentació, elaboració i testeig del software i el dispositiu.

Temps de treball			
Concepte	Hores treballades	Sou enginyer (€/h)	Cost total (€)
Treball enginyer	400	50	<b>20000</b>

*Taula 4. Cost sou enginyer. Font: pròpia.*

Per últim, cal determinar un cost associat al consum de recursos

Consum recursos			
Concepte	Hores	Cost	Cost total (€)
Alimentació portàtil / plaques (100W)	400	0,22 (€/kWh)	8,8
Internet	5 mesos	40 (€/mes)	200
Altres	-	-	40
		<b>Total</b>	<b>248,8</b>

*Taula 5. Cost consum recursos. Font: pròpia.*

Ajuntant tots els costos es pot calcular el cost total de l'elaboració del prototip.

Cost total	
Concepte	Cost
Material i programari	1107,25
Temps treball	20000
Consum recursos	248,8
<b>Total</b>	<b>21356,05</b>

*Taula 6. Cost total projecte. Font: pròpia.*

## 9.2. Implementació en les bicicletes

L'objectiu d'aquest apartat és realitzar una estimació del cost que suposaria la inversió inicial de la posada en marxa del projecte. Per aquest motiu s'han estimat alguns costos.

El servei de Bicing disposa de 6000 bicicletes, pel que per la posta en marxa del sistema s'hauria de realitzar una adquisició d'uns 6100 dispositius, contant els recanvis. El preu per unitat es veuria reduït al realitzar una comanda d'aquesta magnitud.

Inversió inicial			
Concepte	Quantitat	Preu unitat (€/uni)	Preu total (€)
TD1205	6100	49,22	300242
Contenedor TD1205	6100	15	91500



Total	<b>391742</b>
-------	---------------

*Taula 7. Inversió inicial. Font: pròpia.*

Per a realitzar l'estudi de viabilitat s'haurien de tenir en compte diferents factors, com la reducció de viatges dels serveis de recollida de bicicletes, la reducció de robatoris, etc. A més, al tractar-se d'un projecte que s'ha marcat com a objectiu millorar un servei públic, entren en joc altres factors que no es poden mesurar fàcilment, tals com la millora en la comoditat i seguretat del servei.

## 10. Anàlisi ambiental

La posta en pràctica d'aquest projecte suposaria una disminució important en la petjada ecològica que genera el servei de Bicing. Està clar que, a mesura que el servei guanya en qualitat, també guanya en usuaris, fet que redueix el tràfic de vehicles motoritzats a la ciutat de Barcelona i, per tant, també les emissions de gasos contaminants. A més, cal recalcar que una millora en la identificació de bicicletes espatllades i/o robades deriva en una disminució dels serveis de manteniment i, per tant, es redueix l'ús de les furgonetes de manteniment i transport. Per aquests motius, el consum de materials i la contaminació causada en la fabricació dels dispositius queda justificada des d'un punt de vista ecològic.

## 11. Planning del projecte

En el següent diagrama es poden observar les diferents activitats que han format part del projecte, així com el seu ordre i durada.

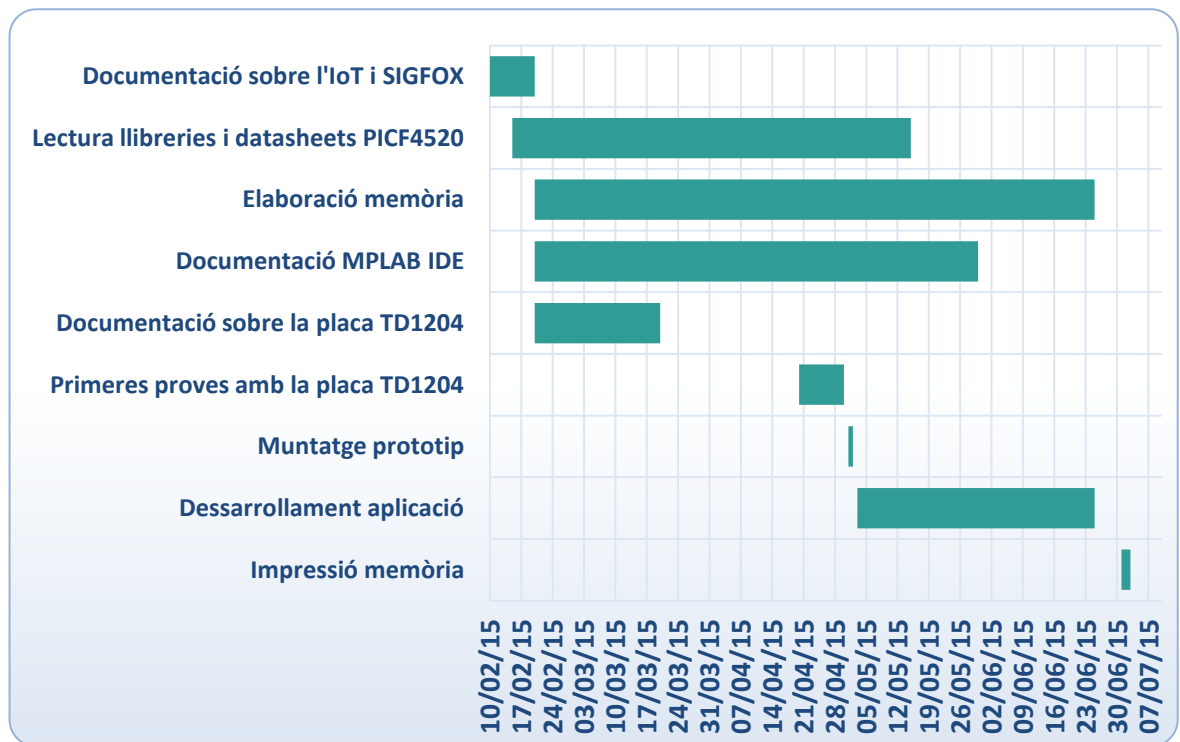


Fig. 24. Diagrama de Gantt. Font: pròpia.

Tal com s'observa en el diagrama, transcorre molt de temps entre la documentació sobre la placa TD1204 i el inici de les proves amb aquesta. Aquest fet es deu a que, degut a uns problemes amb el subministrador de la placa, aquesta no va arribar fins a mitjans d'abril, el que va limitar el temps disponible per l'elaboració de l'aplicació.

## Conclusions

Un cop acabada la realització de l'aplicació, es considera que el treball ha respost de manera satisfactòria els objectius marcats. Aquesta aplicació serveix d'exemple de l'immens potencial que presenta el IoT, i de com s'està obrint camí pas a pas entre la vida quotidiana de les persones.

S'evidencia el fet de que encara no està del tot desenvolupada en les errates que s'han trobat en la placa TD1204, així com en el preu dels dispositius. El preu dels dispositius (uns 65€ per bicicleta sense tenir en compte possibles descomptes) suposa una inversió massa gran tenint en compte la situació econòmica en la que ens trobem i el preu de les pròpies bicicletes, 500€ les convencionals i 1200€ les elèctriques. Tot i això, és fàcil veure que no es tardarà en solucionar aquests problemes, i que un cop solucionats donaran via lliure al món de l'IoT, i a la pròxima revolució industrial.

Pel que fa a l'aplicació, s'han assolit els objectius, dissenyant un prototip de laboratori completament operatiu. Al poder, in extremis, fer funcionar la comanda del registre del telèfon, s'habilita l'elaboració d'una demostració completa del que suposaria el funcionament del prototip en la bicicleta.

El treball suposa una manera d'entrar en aquest món i de poder captar el que suposarà, adquirint coneixements sobre el tema. Cal destacar l'experiència que ha suposat la realització d'aquest treball. El procés que ha suposat l'evolució des d'una idea a l'aplicació d'aquesta, és un clar exemple del que suposa el treball d'un enginyer.

## Agraïments

Vull agrair el suport dels meus pares, sense els quals això no hagués estat possible. També vull donar les gràcies pel suport a la família i als amics, als que he anat obtenint durant els anys que he estat cursant la carrera i als de tota la vida, que m'han ajudat a tirar-ho tot endavant en els moment difícils.

Un especial agraïment pel suport obtingut al director del treball, *Juan Manuel Moreno Eguilaz* i al creador d'aquest, *Emilio Hernandez Chiva*.

## Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

En referència al Internet de les coses:

- [1] Pàgina web de SIGFOX ,  
[ <http://www.sigfox.com/en/>, 10 de febrero de 2015]
- [2] Informació extreta de la pàgina web CISCO,  
  
[<http://www.cisco.com/web/LA/soluciones/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf>, 15 de febrer de 2015]  
  
[<http://www.cisco.com/web/solutions/trends/iot/overview.html>, 15 de febrer de 2015]

En referència a la placa TD1204:

- [3] TELECOM DESIGN, *TD1204 Datasheet*.
- [4] TELECOM DESIGN, *EVB User's guide*.
- [5] TELECOM DESIGN, *TD1204 Reference Manual*.
- [6] FTDI, *DS\_TTL-232R\_CABLES*, 2010.

En referència a la placa Td1205:

- [7] Descripció placa TD1205:  
  
[<http://www.sigfox.com/es/#!/products/td1205-31>, 2 de juny de 2015]. Descripció placa TD1205.

En referència al microcontrolador PIC18F4520 i a la placa Open18F520:

[8] MICROCHIP TECHNOLOGY INC., *PIC18F2420/2520/4420/4520 Datasheet*, 2008.

[9] WAVESHARE ELECTRONICS:

[<http://www.wvshare.com/aspx/search.aspx?keywords=Open18f4520>, 2 de maig de 2015] Informació sobre la placa Open18f4520.

En referència a l'ús del llenguatge C adaptat al compilador de Microchip C18.

[10] MICROCHIP TECHNOLOGY INC., *MPLAB C18 C Compiler Getting Started*, 2005.

[11] MICROCHIP TECHNOLOGY INC., *MPLAB C18 C Compiler Libraries*, 2005.

[12] Casanova Alejandro, *Tutorial MPLAB C18*, 2010.

[13] Informació sobre el TPMS:

[<http://www.circulaseguro.com/que-es-el-tpms-o-control-de-presion-de-los-neumaticos/>, 5 d'abril de 2015]

[14] Informació sobre l'hodòmetre:

[<http://en.wikipedia.org/wiki/Odometer>, 5 d'abril de 2015]

[15] Informació sobre el sistema eCall:

[<http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/ecall-time-saved-lives-saved>, 6 d'abril de 2015]

[16] Informació sobre el codi de NMEA i el valor hdop:

[<http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>, 15 de maig de 2015]

[<http://aprs.gids.nl/nmea/#top>, 15 de maig de 2015]

[<http://crowtracker.com/hdop-gps-position-errors>, 15 de maig de 2015]

[17] Informació sobre acceleròmetres:

[<http://5hertz.com/tutoriales/?p=228#Alcance>, 4 d'abril de 2015]

[<http://www.instructables.com/id/Accelerometer-Gyro-Tutorial/step1/The-Accelerometer/>, 20 de maig de 2015]

## Referències bibliogràfiques de les taules i figures

[1] PIC18f4520,

[<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=PIC18F4520>]

[2] Placa Open18F4520,

[<http://www.wvshare.com/img/devkit/Open16F877A/Open16F877A-1.jpg>]

[3] MPLAB ICD 3,

[[http://www.microchip.com/Developmenttools/ProductDetails.aspx?PartNO=DV164035&utm\\_source=&utm\\_medium=MicroSolutions&utm\\_term=&utm\\_content=DevTools&utm\\_campaign=MPLAB+ICD+3](http://www.microchip.com/Developmenttools/ProductDetails.aspx?PartNO=DV164035&utm_source=&utm_medium=MicroSolutions&utm_term=&utm_content=DevTools&utm_campaign=MPLAB+ICD+3)]

[4] Acceleròmetre,

[<http://www.instructables.com/id/Accelerometer-Gyro-Tutorial/step1/The-Accelerometer/>]

[5] Brunzidor,

[<http://spanish.cn buzzer.com/sale-1478840-pbt-piezo-wire-buzzer.html>]

[6] Placa TD 1205,

[<http://www.sigfox.com/es/#!/products/td1205-31>]



## Bibliografia complementària

Informació sobre el servei “Bicing”:

[1] Pàgina web del servei, [<https://www.bicing.cat/>]

[2] Notícies relacionades,

[<http://www.lavanguardia.com/vida/20091202/53835969604/la-guardia-urbana-detiene-a-600-barceloneses-en-medio-ano-por-robar-bicicletas-del-bicing.html>]

[<http://www.btv.cat/btvnoticies/2015/05/04/racc-ajuntament-casc-bici-bicing/>]

Dubtes sobre programació:

[3] Pàgina web de Microchip:

[<http://www.microchip.com/forums/>]